

B7

**Apparatus for Organic Rankine Cycle (ORC) process has a fluid regenerator in each stage to achieve a greater temperature differential between the cascade inlet and outlet**

Patent Number: DE19907512  
Publication date: 2000-08-31  
Inventor(s): RIEDEL JENS (DE); ECKERT FRANK (DE)  
Applicant(s): RIEDEL JENS (DE); ECKERT FRANK (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19907512  
Application Number: DE19991007512 19990222  
Priority Number(s): DE19991007512 19990222  
IPC Classification: F01K25/02  
EC Classification: F01K23/04, F01K25/08  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

Energy conversion apparatus for use in a thermal Organic Rankine Cycle (ORC) process comprising an evaporator (2), turbine (3) and condenser in at least two cascade arrangements, and with the first stage condenser conducting heat to the second stage one, is such that a greater temperature differential is achieved between the cascade -inlet and -outlet. This increase in the temperature differential is achieved by providing a fluid regenerator (4) in each stage with the fluid being at low vapor pressure in the high temperature cycle and at a higher pressure in the low temperature cycle.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 07 512 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 01 K 25/02**

⑲ Aktenzeichen: 199 07 512.3  
⑳ Anmeldetag: 22. 2. 1999  
㉑ Offenlegungstag: 31. 8. 2000

**DE 199 07 512 A 1**

⑦① Anmelder:  
Eckert, Frank, 07356 Unteriemnitz, DE; Riedel, Jens,  
07356 Heinersdorf, DE

⑦④ Vertreter:  
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung zur Energieumwandlung auf der Basis von thermischen ORC-Kreisprozessen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Energieumwandlung auf der Basis von thermischen ORC-Kreisprozessen, umfassend eine mindestens zweistufige kaskadierte Anordnung, jeweils bestehend aus einem Verdampfer, einer Turbine und einem Fluid-Kondensator, wobei der Kondensator der ersten Stufe Abwärme auf den Kreislauf der zweiten Stufe führt. Erfindungsgemäß ist in jeder Stufe ein Fluid-Regenerator vorgesehen, wobei das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs einen niedrigen und das Fluid des Niedrigtemperaturkreislaufes einen hohen Dampfdruck aufweist, so daß in Verbindung mit der Kaskadierung große Temperaturdifferenzen zwischen Kaskadenein- und -ausgang im Sinne einer Erhöhung des Wirkungsgrads erreichbar sind.

**DE 199 07 512 A 1**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Energieumwandlung auf der Basis von thermischen ORC-Kreisprozessen, umfassend eine mindestens zweistufige kaskadierte Anordnung, jeweils bestehend aus einem Verdampfer, einer Turbine und einem Fluid-Kondensator, wobei der Kondensator einer ersten Stufe Abwärme auf den Kreislauf einer zweiten Stufe führt.

In organischen Kreisprozessen (ORC-Prozeß) können prinzipiell Temperaturdifferenzen von mehr als 350°K genutzt werden. Jedoch sind auf der Hochtemperaturseite aufgrund der begrenzten thermischen Stabilität des im Prozeß verwendeten Fluids Einschränkungen gegeben.

Auf der Niedrigtemperaturseite des Prozesses bestehen Grenzen aufgrund der Umgebungstemperatur, wobei weiterhin noch eine notwendige Temperaturdifferenz zur Wärmeabgabe zu beachten ist.

Es wurde bereits vorgeschlagen, organische Kreisprozesse zum Betreiben von Turbogeneratoren zur kombinierten Erzeugung von Elektro- und Wärmeenergie aus Biomasse zu nutzen. Zur Verbesserung des Wirkungsgrads wurde eine Kaskadenanordnung mit externer Vorwärmung des Fluids bekannt. Der Nachteil der bekannten Anordnung besteht u. a. darin, daß die Verdampfungstemperatur des Fluids der zweiten Stufe auf die Kondensationstemperatur des Fluids der ersten Stufe begrenzt ist, wodurch kein optimaler Prozeßwirkungsgrad erreicht werden kann.

Verwiesen werden soll hierauf die Veröffentlichung "Organic Rankine Cycle Turbogenerators for Combined Heat and Power Production from Biomass" von Dr. Roberto Bini und Dr. Enrico Manciana, präsentiert anlässlich des 3. Münchner Meetings "Energy Conversion from Biomass Fuels Current Trends and Future Systems" am 22.-23.10.1996.

Aus dem Vorgenannten ist es Aufgabe der Erfindung, eine weiterentwickelte Vorrichtung zur Energieumwandlung auf der Basis von thermischen ORC-Kreisprozessen anzugeben, mit der es gelingt, den Prozeßwirkungsgrad insgesamt zu erhöhen, indem eine Annäherung oder Überschneidung der Temperaturdifferenzen der Wärmezufuhr der einzelnen Stufen gegeben ist.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einer Vorrichtung gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen umfassen.

Erfindungsgemäß wird von dem Grundgedanken ausgegangen, eine kaskadierte Anordnung von Kreisprozessen mit Fluiden vorzusehen, wobei die Fluide unterschiedliche Dampfdrücke in Abhängigkeit von der Temperatur besitzen. Dabei wird die Abwärme des einen Kreisprozesses jeweils dem nächsten Prozeß bzw. der nächsten Stufe auf dessen heißer Seite zugeführt.

Es hat sich gezeigt, daß bereits zwei hintereinander geschaltete ORC-Prozesse unter Berücksichtigung entsprechender Fluide in der Lage sind, größere Temperaturdifferenzen zu überbrücken. Die Fluide werden dabei so ausgewählt, daß die Dampfdrücke jeweils bei unterschiedlichen Temperaturen in einem optimalen Bereich liegen.

Als ORC-Flüssigkeiten eignen sich z. B. Kombinationen aus Diphenyl/Diphenylether-Gemische und Hexamethyldisiloxan.

Weitere Kombinationen, z. B. Octamethylcyclsiloxan (296,6 g/mol) mit Hexamethyldisiloxan sind denkbar.

Durch die vorgesehene Hintereinanderschaltung mehrerer, gestufter Prozesse mit organischen oder ähnlichen Siloxanen ergibt sich weiterhin die Möglichkeit, nach bzw. in jeder Stufe Wärmeenergie, z. B. zu Heizzwecken auszukoppeln. Erfindungsgemäß ist in jeder Stufe ein Fluid-Regene-

rator vorgesehen, wobei, wie bereits oben erwähnt, das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs einen niedrigeren und das Fluid des Niedrigtemperaturkreislaufs einen hohen Dampfdruck aufweist.

In Ausgestaltung der Erfindung ist in jedem Kreislauf ein Fluid-Vorwärmer angeordnet, wobei der Fluid-Vorwärmer und der Wärmetauscher zur thermischen Kopplung mit dem jeweiligen Kreislauf von einem Thermoträgermedium, z. B. einem Öl durchströmt sind.

Zwischen den Stufen, die jeweiligen Kreisläufe indirekt thermisch verbindend, ist ein Thermoträgerkreislauf vorgesehen, wobei das Thermoträgermedium den Kondensator der höhertemperierten Stufe, den Kondensator und den Vorwärmer der niedertemperierten Stufe und ggf. einen weiteren Wärmetauscher zum Auskoppeln von thermischer Energie, wie dargelegt z. B. zu Heizzwecken, durchströmt.

In einer bevorzugten Ausführungsform durchströmt das Fluid des Kreislaufs der niedertemperierten Stufe zur unmittelbaren thermischen Kopplung den Kondensator der höhertemperierten Stufe, wobei zur Zuführung zusätzlicher thermischer Energie im Kreislauf der niedertemperierten Stufe ein weiterer Wärmetauscher anordenbar ist.

Dieser weitere Wärmetauscher kann mit dem Rücklauf der Wärmezuführungsseite der höhertemperierten Stufe verbunden sein.

Das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs geht möglichst nahe der höchsten Temperatur der zugeführten äußeren thermischen Energie in den dampfförmigen Aggregatzustand über. Die Kreislaufumtemperatur der energiereicheren Stufe liegt im Bereich von im wesentlichen 300 bis > 400°C und die Temperatur der energieniedrigen Stufe liegt im Bereich von im wesentlichen 100 bis 280°C. Die turbineneingangsseitigen Drücke der Kreisläufe liegen im Bereich zwischen 8 und 15 bar.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine prinzipielle Darstellung eines kombinierten ORC-Prozesses mit der Fluidkombination Diphenyl/Diphenylether und Hexamethyldisiloxan;

Fig. 2 eine prinzipielle Darstellung eines kombinierten ORC-Prozesses mit der Fluidkombination Diphenyl/Diphenylether und Octamethyltrisiloxan;

Fig. 3 eine prinzipielle Darstellung eines kombinierten ORC-Prozesses mit der Fluidkombination Diphenyl/Diphenylether und Hexamethyldisiloxan, wobei im Niedrigtemperaturkreislauf eine externe Wärmezufuhr vorgesehen ist;

Fig. 4 ein Temperatur/Entropiediagramm eines kombinierten ORC-Prozesses und

Fig. 5 ein Temperatur/Druckdiagramm eines kombinierten ORC-Prozesses.

In den Fig. 1 bis 3 werden für dieselben Elemente und Aggregate die gleichen Bezugszeichen verwendet.

Der kombinierte ORC-Prozeß gemäß den Darstellungen nach Fig. 1 bis 3 geht auf der heißen, d. h. der Hochtemperaturkreislaufseite, von einer externen Wärmezufuhr über einen Vorwärmer 1 und einen Verdampfer 2 aus. Im Verdampfer verdampft das Fluid 1, z. B. Diphenyl/Diphenylether, und es werden Temperaturen bis zu 390°C bei einem Druck von im wesentlichen 9,5 bar erreicht. Der Fluidampf gelangt auf eine Turbine 3, welche einen nicht gezeigten Generator antreiben kann. Ausgangsseitig der Turbine 3 wird das Fluid auf einen Regenerator 4 geführt und kondensiert am Kondensator 5. Im Regenerationskreislauf ist eine Druckpumpe 6 vorgesehen. Die am Kondensator 5 frei werdende Wärmeenergie wird z. B. über eine indirekte thermische Kopplung mit Hilfe eines Wärmeträgeröls dem

Niedrigtemperaturkreislauf mit dem Fluid 2, z. B. Hexamethyldisiloxan nach Fig. 1 bzw. Octamethyltrisiloxan nach Fig. 2, zugeführt. Im thermischen Koppelkreis kann, wie gezeigt, ein weiterer Wärmetauscher zur Auskopplung von Energie, z. B. zu Heizzwecken vorgesehen sein.

Auch der zweite Kreislauf besitzt einen Vorwärmer 1 und einen Verdampfer 2 sowie eine Turbine 3. Das Fluid im Niedrigtemperaturkreislauf verdampft z. B. bei Temperaturen im Bereich von 200 bis 260°C je nach Eigenschaften des jeweiligen Fluids oder der Fluidmischung und erreicht Drücke im Bereich von 8 bis nahezu 13 bar. Der hochgespannte Dampf gelangt auf die auch im zweiten Kreislauf vorhandene Turbine 3, die wiederum über einen Generator elektrische Energie erzeugen kann. Ausgangsseitig der Turbine 3 ist ein Regenerator 4 vorgesehen und es kann über den Fluid-Kondensator 5 des Niedrigtemperaturkreislaufs Wärmeenergie abgeführt werden.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 wird im Niedrigtemperaturkreislauf als Fluid Octamethyltrisiloxan verwendet. Hier besteht eine größere temperaturseitige Belastbarkeit, wobei in diesem Fall eine thermische Kopplung der gezeigten beiden Kreisläufe erfolgt, ohne daß Wärmeenergie im Koppelkreis unter Verwendung eines Wärmetauschers entzogen wird.

Eine besonders kostengünstige und effektive Ausführungsform eines kombinierten ORC-Prozesses ist in Fig. 3 gezeigt. Dort ist die Vorwärmung des Fluids des Niedrigtemperaturkreislaufs durch das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs und die Verdampfung durch von außen zugeführte Wärme maßgeblich. Mittels der Anordnung nach Fig. 3 kann eine starke Annäherung oder Überschneidung der Temperaturdifferenzen hinsichtlich der Wärmezufuhr der beiden Stufen erreicht werden mit der Folge eines höheren Prozeßwirkungsgrads, da weitgehend die gesamte Temperaturdifferenz der von außen zugeführten Wärmeenergie nutzbar ist. Der Niedrigtemperaturkreislauf ist gemäß Fig. 3 unmittelbar über den Fluid-Kondensator 5 des Hochtemperaturkreises mit diesem gekoppelt.

Es hat sich gezeigt, daß bei kombinierten ORC-Kreisprozessen gemäß den voranstehend geschilderten Ausführungsbeispielen Gesamtwirkungsgrade im Bereich von bis zu 35% erreichbar sind. Bei Nutzung der Abwärme einer Gasturbine konnte rechnerisch eine Gesamteffizienz von 45% nachgewiesen werden.

Bei der Wärmeauskopplung aus einer Feststoffverbrennung und der Energiegewinnung in einer zweistufigen ORC-Kaskade kann je nach Nutzung der Abwärme nach der ersten Stufe beim Antreiben eines Generators ein elektrischer Wirkungsgrad im Bereich von 20 bis 35% erreicht werden. Dies übertrifft den Wirkungsgrad von kleinen Wasserdampfanlagen, da in diesen meist nur mit relativ niedrigen Drücken und Temperaturen gearbeitet werden kann. Eine effektive Nutzung von ORC-Anlagen kann bei der Elektroenergiegewinnung aus der Abwärme von Anlagen zur Glasherstellung, Zementöfen, Stahlföfen und anderen Prozessen mit Abwärme von einer Temperatur > 150°C erfolgen. Selbstverständlich können derartige Anlagen auch mit Abwärme aus der Verbrennung von Müll, Biomasse und anderen festen und flüssigen Brennstoffen betrieben werden. Ebenso ist, wie oben erwähnt, ein kombiniertes Betreiben von Gasturbinen und Abwärmenutzung im ORC-Kreisprozeß denkbar.

Mit Hilfe der Fig. 4 und 5 sei prinzipiell auf die gewünschten Fluideigenschaften aufmerksam gemacht, wobei durch die Fluidkombinationen, wie in Fig. 5 gezeigt, eine Annäherung an eine ideale Drucklinie gegeben ist.

Denkbare Fluidkombinationen sind folgende:  
Diphenyl/Diphenylether – Hexamethylsiloxan oder andere

organische Fluide,  
zyklische Siloxane – Hexamethylsiloxan oder andere organische Fluide,  
lineare Siloxane – Hexamethylsiloxan oder andere organische Fluide und  
Wasser – organische Fluide oder Siloxane.

#### Bezugszeichenaufstellung

- 1 Vorwärmer
- 2 Verdampfer
- 3 Turbine
- 4 Regenerator
- 5 Fluid-Kondensator
- 6 Druckpumpe

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Energieumwandlung auf der Basis von thermischen ORC-Kreisprozessen, umfassend eine mindestens zweistufige kaskadierte Anordnung, jeweils bestehend aus einem Verdampfer, einer Turbine und einem Fluid-Kondensator, wobei der Kondensator der ersten Stufe Abwärme auf den Kreislauf der zweiten Stufe führt, **dadurch gekennzeichnet**, daß in jeder Stufe ein Fluid-Regenerator vorgesehen ist, wobei das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs einen niedrigen und das Fluid des Niedrigtemperaturkreislaufs einen hohen Dampfdruck aufweist, so daß in Verbindung mit der Kaskadierung wirkungsgraderhöhend große Temperaturdifferenzen zwischen Kaskadenein- und -ausgang erreichbar sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in jedem Kreislauf ein Fluid-Vorwärmer angeordnet ist, wobei der Vorwärmer und der Wärmetauscher zur thermischen Kopplung mit dem jeweiligen Kreislauf von einem Thermoträgermedium durchströmt sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Stufen, die jeweiligen Kreisläufe indirekt thermisch verbindend, ein Thermoträgerkreislauf vorgesehen ist, wobei das Thermoträgermedium den Kondensator der höhertemperierten Stufe, den Kondensator und den Vorwärmer der niedertemperierten Stufe und ggf. einen weiteren Wärmetauscher zum Auskoppeln von thermischer Energie durchströmt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des Kreislaufs der niedertemperierten Stufe zur unmittelbaren thermischen Kopplung den Kondensator der höhertemperierten Stufe durchströmt, wobei zur Zuführung zusätzlicher thermischer Energie im Kreislauf der niedertemperierten Stufe ein weiterer Wärmetauscher angeordnet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Wärmetauscher mit dem Rücklauf der Wärmezuführungsseite der höhertemperierten Stufe verbunden ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs Diphenyl/Diphenylether, zyklische Siloxane und/oder ein lineares Siloxan bzw. lineare Siloxane und das Fluid des Niedrigtemperaturkreislaufs ein organisches Medium, vorzugsweise Hexamethylsiloxan ist bzw. sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des Hochtempera-

turkreislaufs Wasser und das Fluid des Niedrigtemperaturkreislaufs ein organisches Medium oder Siloxan ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Fluide jeder Stufe im Betriebsfall ein unterschiedliches Temperaturniveau besitzen.

9. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des Hochtemperaturkreislaufs möglichst nahe der höchsten Temperatur der zugeführten äußeren thermischen Energie in den dampfförmigen Aggregatzustand übergeht.

10. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kreislauf Temperatur der energiereicheren Stufe im Bereich von im wesentlichen 300 bis > 400°C und die Kreislauf Temperatur der energieniedrigeren Stufe im Bereich von, im wesentlichen 100 bis 280°C liegt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die turbineneingangsseitigen Drücke im Bereich zwischen im wesentlichen 8 und 15 bar liegen.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1) Kombiniertes ORC-Prozess mit Fluid 1 Diphenylether / Diphenylether und Fluid 2 Hexamethyldisiloxan

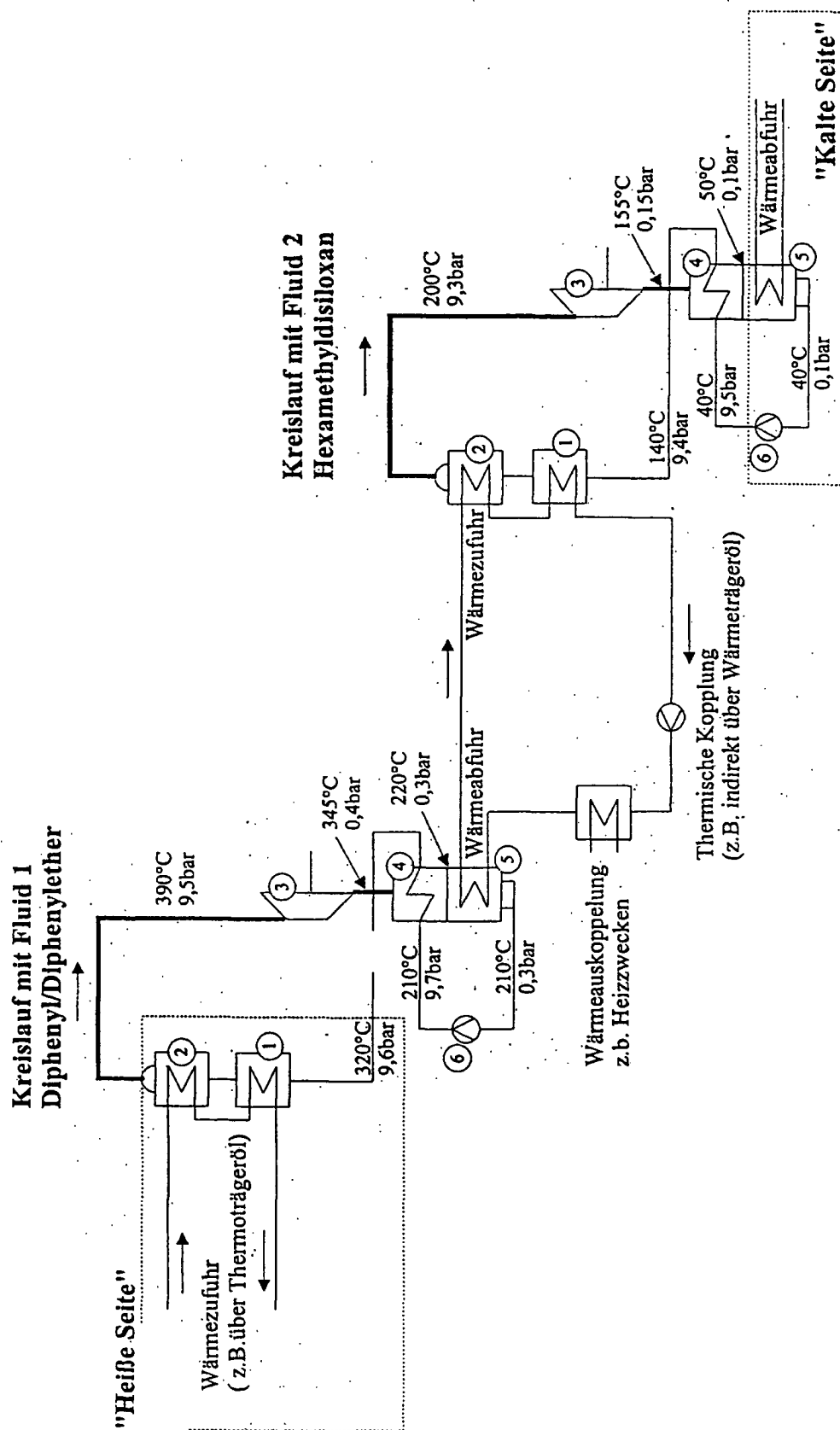
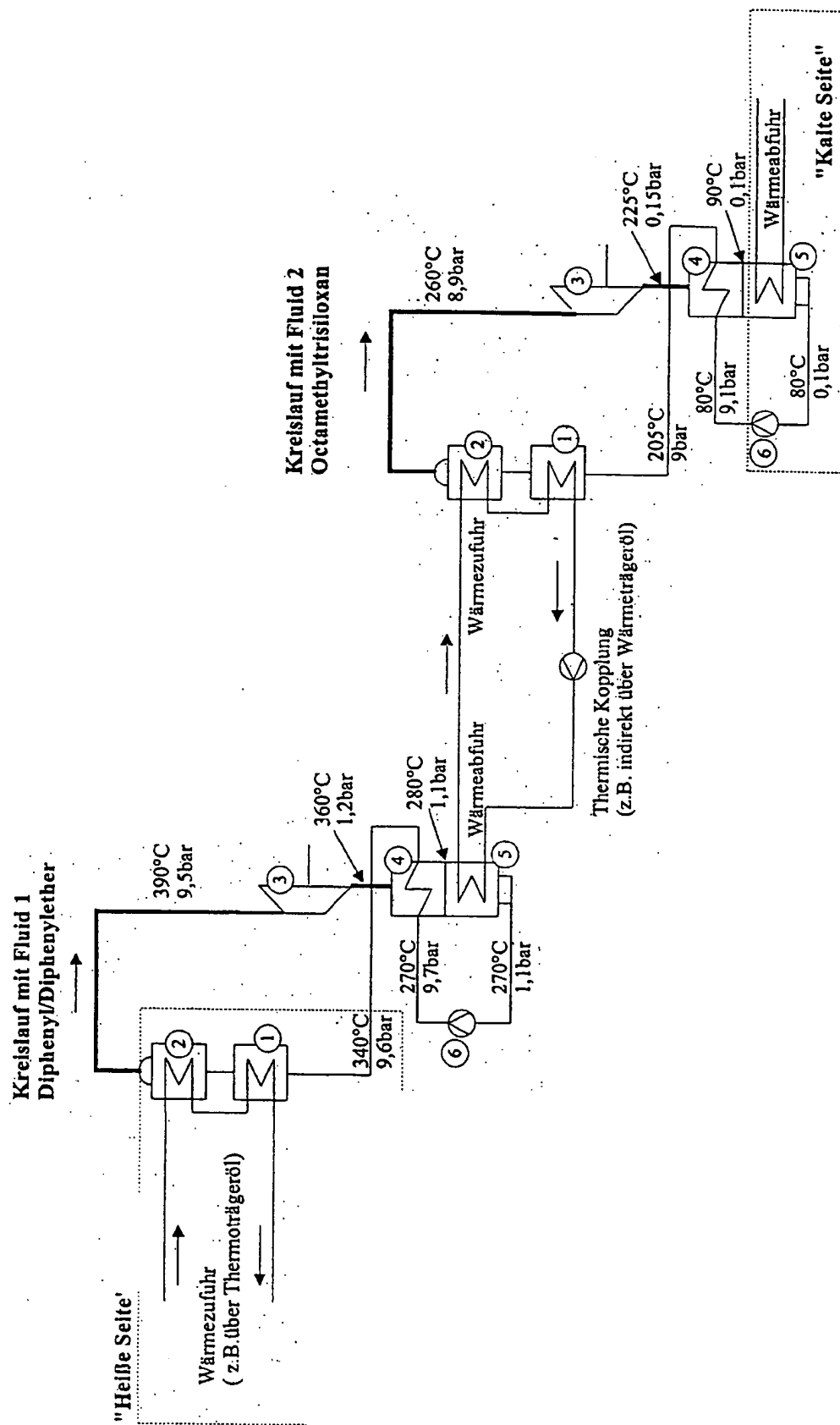
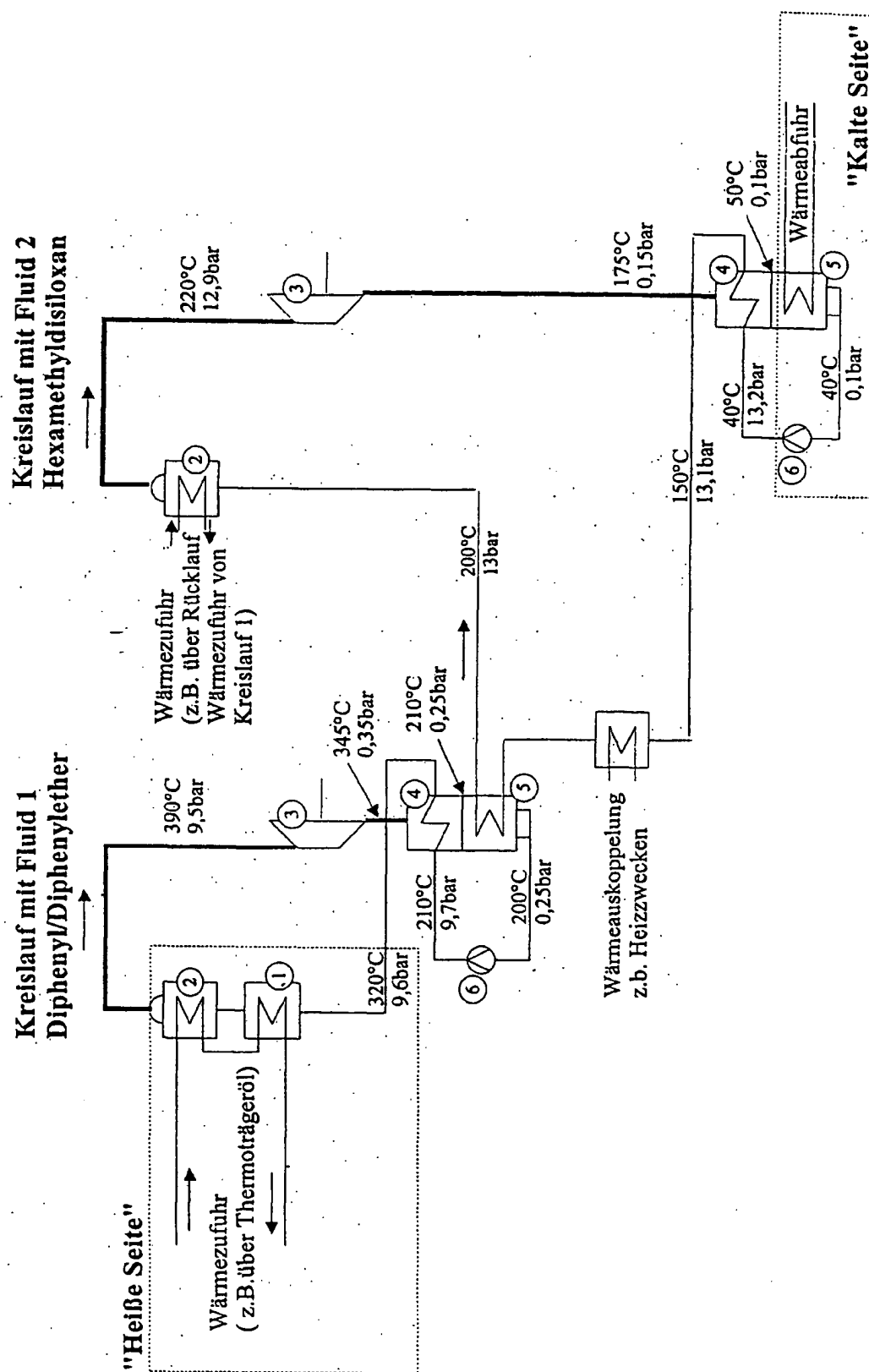


Fig. 2) Kombiniertes ORC-Prozess mit Fluid 1 Diphenyl / Diphenylether und Fluid 2 Octamethyltrisiloxan





**Fig. 3) Kombinerter ORC-Prozeß mit Fluid 1 Diphenyl / Diphenylether und Fluid 2 Hexamethyldisiloxan**



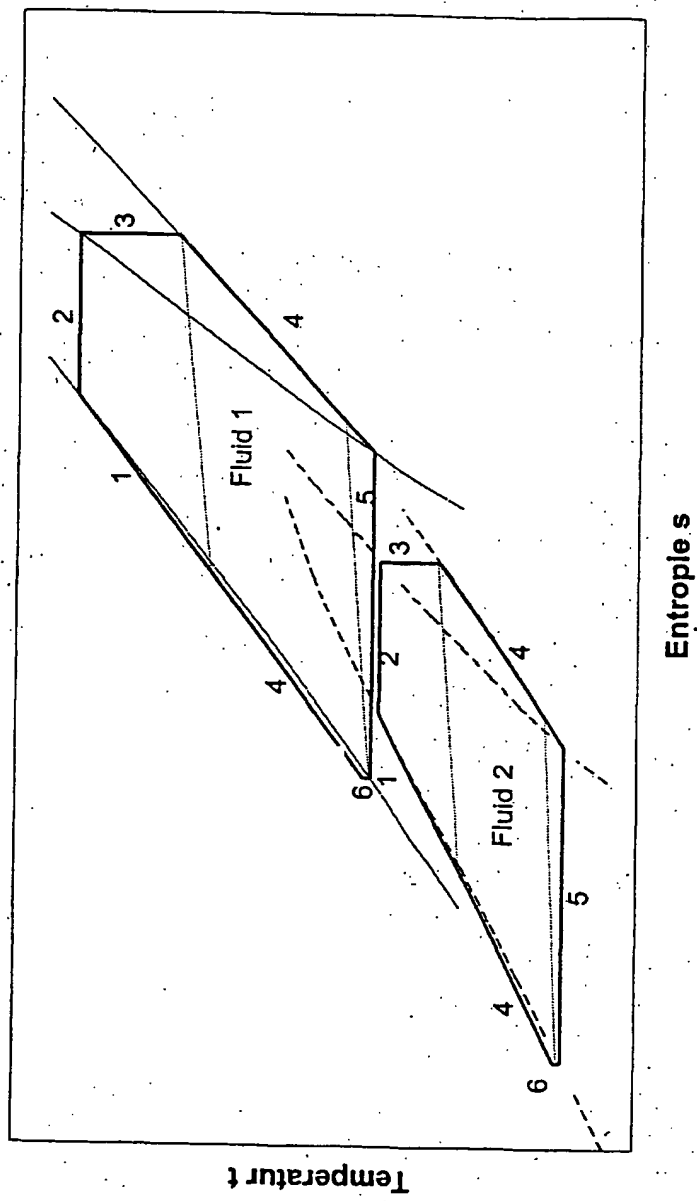


Fig. 4

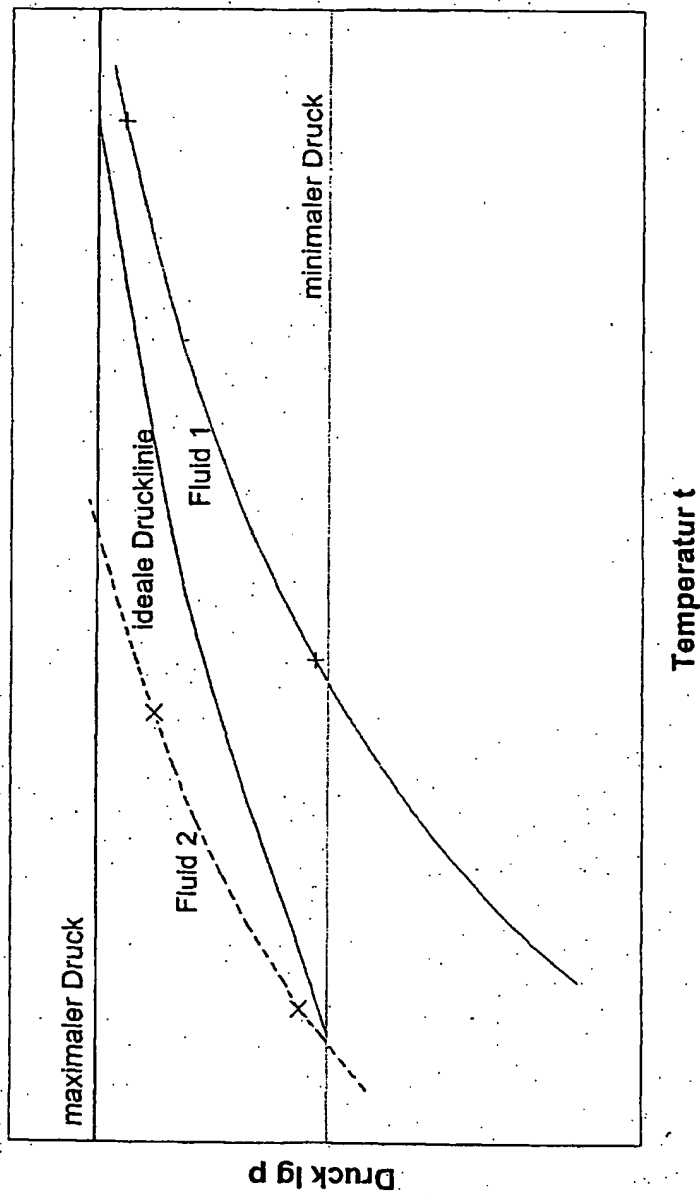


Fig. 5